

## Device for determining the position of a body to be positioned with respect to a reference body

Patent Number: ☐ US5648851  
Publication date: 1997-07-15  
Inventor(s): KELLNER HELMUT (DE)  
Applicant(s): EMS TECHNIK GMBH (DE)  
Requested Patent: ☐ DE4308456  
Application Number: US19950522347 19950914  
Priority Number(s): DE19934308456 19930317; WO1994DE00230 19940301  
IPC Classification: G01B11/14  
EC Classification: G01B11/00D, G01D5/26B  
Equivalents: ☐ EP0689664 (WO9421984), B1, ☐ WO9421984

---

### Abstract

---

PCT No. PCT/DE94/00230 Sec. 371 Date Sep. 14, 1995 Sec. 102(e) Date Sep. 14, 1995 PCT Filed Mar. 1, 1994 PCT Pub. No. WO94/21984 PCT Pub. Date Sep. 29, 1994A device is disclosed for determining the position of a body to be positioned with respect to a reference body. The body to be positioned carries a graduation with optical detectors. The coordinates of a projection center are trigonometrically calculated from the projection angles formed between the projection center and at least three light marks projected onto the graduation, as well as from the distance between the light marks. The projection center is formed by the common intersection point between the optical axes or by the common intersection line between the optical planes of at least three diverging and/or converging projectors arranged on the reference body and which emit light beams or light planes. The light marks projected onto the graduation are detected by the optical detectors.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

~~THIS PAGE BLANK~~

THIS PAGE BLANK (USPTO)



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 43 08 456 C 2

⑤⑦ Int. Cl. 8:  
G 01 B 11/02  
G 01 J 1/00  
G 01 B 21/22

⑳ Aktenzeichen: P 43 08 456.7-52  
㉑ Anmeldetag: 17. 3. 93  
㉒ Offenlegungstag: 22. 9. 94  
㉓ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 28. 3. 96

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
E.M.S. Technik GmbH, 26789 Leer, DE  
  
⑦④ Vertreter:  
Thömen und Kollegen, 30175 Hannover

⑦② Erfinder:  
Kellner, Helmut, Prof. (Univ.) Dr., 26802  
Moormerland, DE

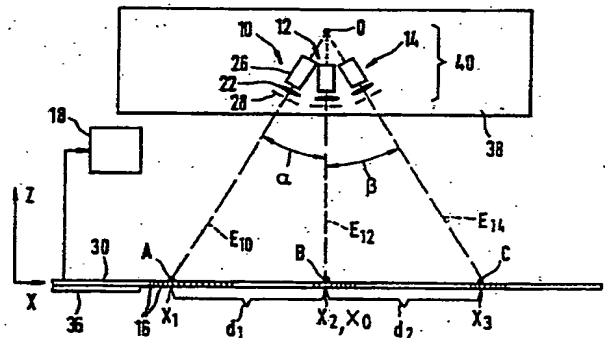
⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 33 14 089 C2  
DE 39 09 858 A1  
DE 38 31 395 A1  
DE 36 11 337 A1

Woschni, H.G.: Verfahren zur Lagebestimmung einer  
optisch wirksamen Struktur mit einer CCD-Zelle. In:  
FEINGERÄTECHNIK, Berlin 33 (1984) 5, S. 219-222;

⑤④ Vorrichtung zur Lagebestimmung eines Positionierkörpers relativ zu einem Bezugskörper

⑤⑦ Vorrichtung zur Lagebestimmung eines Positionierkörpers (36) relativ zu einem Bezugskörper (38), wobei der Positionierkörper (36) wenigstens einen eindimensionalen Maßstab (30) trägt und Koordinaten ( $X_0$ ,  $Z_0$ ) eines Projektionszentrums (O) aus den Projektionswinkeln ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) zwischen dem Projektionszentrum (O) und wenigstens drei projizierter Marken (A, B, C) sowie aus dem gegenseitigen Abstand der Marken (A, B, C) trigonometrisch berechnet werden, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem Positionierkörper (36) zueinander parallele eindimensionale Maßstäbe angeordnet sind, wobei  
a) zwei Maßstäbe (30, 32) in einer gemeinsamen Ebene liegen oder  
b) in zwei Ebenen, die unter einem Winkel von vorzugsweise  $90^\circ$  aufeinander stehen, jeweils ein Maßstab (30, 34) liegt oder  
c) zwei Maßstäbe (30, 32) in einer gemeinsamen ersten Ebene liegen und ein weiterer Maßstab (34) in einer zweiten Ebene liegt und die beiden Ebenen unter einem Winkel von vorzugsweise  $90^\circ$  aufeinander stehen, daß jedem Maßstab (30, 32, 34) eine auf dem Bezugskörper (38) angeordnete Projektoranordnung (40, 42, 44) aus wenigstens je drei Projektoren (10, 12, 14) zugeordnet sind, die auf den Maßstäben (30, 32, 34) Licht-Marken (A, B, C) projizieren, daß Projektionszentren (O) durch den gemeinsamen Schnittpunkt der optischen Achsen oder die gemeinsame Schnittlinie der optischen Ebenen ( $E_{10}$ ,  $E_{12}$ ,  $E_{14}$ ;  $E_{20}$ ,  $E_{24}$ ) wenigstens dreier auf dem Bezugskörper (38) angeordneter Projektoren (10, 12, 14; 20, 24) gebildet sind, die divergierende und/oder konvergierende Lichtstrahlen oder Lichtebenen aussenden, und daß die Maßstäbe (30, 32, 34) durch optische Abtaster (16) gebildet sind, welche die projizierten Licht-Marken (A, B, C) erfassen.



DE 43 08 456 C 2

DE 43 08 456 C 2

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Lagebestimmung eines Positionierkörpers relativ zu einem Bezugskörper nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

5 Eine solche Vorrichtung dient z. B. dazu, bei der Steuerung von Meß- und Fertigungsmaschinen Wegstrecken zwischen längsverschieblichen Gegenständen, wie Meßköpfen, Greif- oder Montagearmen zu erfassen. Dabei ist die Genauigkeit, mit der diese Wegstrecken ermittelt werden können, von ausschlaggebender Bedeutung für die Fertigungsgenauigkeit des Automaten.

10 Aus der DE-OS 39 09 856 ist bereits ein Verfahren und eine Vorrichtung bekannt, das eine hohe Meßgenauigkeit unabhängig von einer exakten Führung des Abtasters ermöglicht. Dabei werden von einem Abtaster drei Marken eines Maßstabes ausgewertet. Bei zwei Marken wäre der zwischen einem Projektionszentrum und diesen Marken gebildete Projektionswinkel noch davon abhängig, in welchem Abstand sich das Projektionszentrum über den Marken befindet und wie weit er seitlich versetzt ist. Bei drei Marken gelingt es, über den weiteren Projektionswinkel zwischen dem Projektionszentrum, dieser weiteren Marke und einer der anderen 15 Marken das Projektionszentrum exakt zu bestimmen. Für eine Kombination von zwei Kombinationswinkeln existiert nämlich nur ein einziger Ort, auf dem sich das Projektionszentrum befinden kann.

Damit die Marken des Maßstabes auf einer Projektionsfläche des Abtasters abgebildet werden können, muß der Maßstab gleichmäßig beleuchtet sein. Dies könnte durch eine Auflicht- oder Durchlichtbeleuchtung erfolgen. Allerdings erfordert eine Beleuchtungsvorrichtung zusätzlichen Raumbedarf, der Miniaturisierungsbestrebungen entgegensteht.

20 Aus der DE 36 31 395 A1 ist eine rechnergesteuerte Bearbeitungsmaschine mit einem Bearbeitungskopf bekannt, dessen Lage gegenüber einer als Referenz dienenden Stelle der Maschine optisch erfaßt wird. In einer Ausführungsform trägt der Bearbeitungskopf drei lichtemittierende Elemente, die mit dem Kreuzungspunkt ihrer Lichtstrahlen einen Tetraeder bilden. Der Kreuzungspunkt liegt unterhalb der als Referenz dienenden 25 Stelle, die einen flächenhaft ortsempfindlichen Detektor trägt. Die X-, Y- und Z-Koordinaten sowie die Drehwinkel um diese Koordinaten berechnen sich aus den Seitenlängen des projizierten Dreiecks auf dem ortsempfindlichen Detektor.

Die bekannte Bearbeitungsmaschine erlaubt bei dieser Ausgestaltung keine gleichzeitige Bestimmung der Auftreffpunkte der Lichtstrahlen, sondern nur eine solche im Zeitmultiplex. Besonders bei großen Flächen ergeben sich dadurch erhebliche Meßzeiten, die eine schnelle Aktualisierung der Meßergebnisse beeinträchtigt.

30 Aus der DE 36 11 337 A1 ist es bekannt, einer Laserdiode eine Schlitzblende zuzuordnen. Das durch die Schlitzblende hindurchtretende Licht fällt auf einen ortsempfindlichen Detektor, dessen Längsachse senkrecht zu dem Schlitz angeordnet ist.

35 Weiterhin ist aus der DE 33 14 089 eine elektrooptische Meßanordnung bekannt, bei der die Lichtstrahlen von einer einzigen kohärenten Lichtquelle durch Strahlteilung erzeugt werden und die Lichtquelle in einer Greiferkupplung angeordnet ist.

Schließlich sind aus "Feingerätetechnik", Berlin 33 (1984) 5, Seiten 219—222, Verfahren bekannt, mit denen die Lage von Strukturen auf ortsempfindlichen Fotoempfängern, z. B. CCD-Empfängern mit Hilfe von Rechnern genau bestimmt werden können.

40 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, daß der Raumbedarf des Maßstabes ohne Einbuße der Meßgenauigkeit verringert werden kann.

Diese Aufgabe wird bei der im Oberbegriff des Anspruch 1 beschriebenen Vorrichtung durch die im Kennzeichen angegebenen Merkmale gelöst.

Bei der Alternative mit zwei in einer Ebene angeordneten Maßstäben kann ein Drehwinkel senkrecht und einer parallel zur Ebene ermittelt werden, in der die Maßstäbe liegen. Diese Ermittlung geschieht jeweils durch Differenzbildung der Koordinaten in Längsrichtung des Maßstabs bzw. im Abstand des Maßstabes unter Berücksichtigung der gegenseitigen Abstände der Projektionszentren.

Bei der Alternative mit Maßstäben, die in unter einem Winkel von vorzugsweise 90° stehenden Ebenen liegen, können Koordinaten in drei Koordinatenrichtungen und zwei Drehwinkel ermittelt werden. Die Kombination 50 aus beiden Alternativen ermöglicht die Ermittlung sowohl aller drei Koordinatenrichtungen als auch aller drei Drehwinkel um diese Koordinatenrichtungen.

Da jedem Maßstab eine gesonderte Projektoranordnung zugeordnet ist, können die Meßwerte gleichzeitig erfaßt werden, wodurch eine schnelle Berechnung der Koordinaten und Drehwinkel ermöglicht wird, was besonders bei dynamischen Lagemessungen wichtig ist.

55 Mittels der Projektoren werden Licht-Marken auf den jeweiligen Maßstab projiziert, aus welchen die Lagekoordinaten des Projektionszentrums bestimmt werden. Es werden also nicht mehr Marken eines Maßstabes auf der Projektionsfläche eines separaten Abtasters abgebildet, sondern der Maßstab ist selbst Projektionsfläche und umfaßt optische Abtaster zur Erfassung der abgebildeten Licht-Marken. Dadurch entfällt eine gesonderte Beleuchtungsvorrichtung, wie sie bisher zur Beleuchtung der Marken des Maßstabes erforderlich war. Der 60 Raumbedarf wird dadurch erheblich verringert.

Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung besteht darin, daß wegen der von den Projektoren ausgesandten Lichtstrahlen oder Lichtebenen eine abstandsunabhängige Abbildungsschärfe der Lichtstrahlen oder Lichtebenen auf den optischen Abtastern erzielt wird, wodurch ein größerer Abstandsmeßbereich in Richtung der Z-Achse erzielt wird, als mit einer fest eingestellten Abbildungsoptik.

65 Die Projektoren können sowohl divergierend, konvergierend als auch divergierend und konvergierend angeordnet sein.

Bei kombinierter divergierender und konvergierender Anordnung werden die Koordinaten von zwei räumlich getrennten Projektionszentren ermittelt, die jedoch einen festen räumlichen Bezug zueinander haben. Die

gleichzeitige Bestimmung der Koordinaten beider Projektionszentren ermöglicht es, Meßfehler zu kompensieren und dadurch die Meßgenauigkeit weiter zu verbessern.

Für die Ausführung der Projektoren bieten sich zwei Ausgestaltungsmöglichkeiten. Eine Ausführung sieht vor, daß die Projektoren jeweils aus einer Laserlichtquelle mit einer Optik und einer Blende bestehen, eine andere Ausführung sieht vor, daß die Projektoren aus einer gemeinsamen Laserlichtquelle mit einer Lichtstrahl oder Lichtebeenaufteilungsoptik und Blenden bestehen.

Die erstgenannte Ausgestaltung ist durch die erforderliche Anzahl von Laserlichtquellen vom Aufwand höher, bietet aber die Möglichkeit, daß die Projektoren unabhängig voneinander justiert werden können. Die letztere Ausgestaltung erfordert einen erhöhten Aufwand für die Justierung, dafür ist aber der bauliche Aufwand und der Raumbedarf geringer als bei der ersteren Ausgestaltung.

Vorzugsweise sind Blenden vorgesehen, die zur Erzeugung von Lichtstrahlen als Lochblenden und zur Erzeugung von Lichtebenen als Spaltblenden ausgebildet sind.

Mit dieser Ausgestaltung der Blenden gelingt es, aus dem Lichtkegel einen schmalen Bereich auszusondern, der jeweils nur eine oder zwei Abtaster- oder Pixelelemente des optischen Abtasters beleuchtet und somit eine eindeutige Auswertung ermöglicht, die eine hohe Meßgenauigkeit der Vorrichtung gewährleistet.

Vorzugsweise sind die optischen Abtaster durch eine CCD-Zeile gebildet.

Derartige Abtaster zeichnen sich durch kleine Baugröße und sehr hohe Auflösung aus und sind bei hoher mechanischer Präzision kostengünstig erhältlich, da sie für die Verwendung in Handy-Scannern und Telefaxgeräten in großen Stückzahlen hergestellt werden.

Gemäß einer Weiterbildung sind die optischen Abtaster mit einem Rechner verbunden, welcher aus der Helligkeitsverteilung eines (einer) auf mehrere Abtaster fallenden Lichtstrahls (Lichtebeine) das Mittenmaximum des Lichtstrahls (der Lichtebeine) bestimmt und dieses der optischen Achse (Ebene) zuordnet.

Durch diese Maßnahme ist die Genauigkeit nicht auf das durch die Abstände der Abtaster gebildete Raster beschränkt, sondern ermöglicht auch die Erfassung von Zwischenwerten.

Bei divergierender Anordnung der Projektoren liegt das Projektionszentrum auf der den Projektoren zugewandten Seite des Maßstabs und bei konvergierend angeordneten Projektoren auf der anderen Seite des Maßstabs.

Durch Verwendung sowohl konvergierend als auch divergierend angeordneter Projektoren ergeben sich zwei Projektionszentren, die eine feste räumliche Zuordnung besitzen und so durch gemeinsame Auswertung der Meßwerte eine Fehlerkompensation ermöglichen.

Der mit dem optischen Abtaster verbundene Rechner nimmt die Berechnung der Koordinaten des Projektionszentrums nach folgenden trigonometrischen Funktionen und Gleichungen vor:

$$X_0 = (Y_1 - Y_2) * \frac{(Y_1 * d_2 + Y_2 * d_1) * 2}{(Y_1 - Y_2)^2 + (d_1 + d_2)^2} + X_2$$

$$Z_0 = (d_1 + d_2) * \frac{(Y_1 * d_2 + Y_2 * d_1) * 2}{(Y_1 - Y_2)^2 + (d_1 + d_2)^2}$$

mit

$$d_1 = X_2 - X_1, \quad d_2 = X_3 - X_2,$$

$$Y_1 = \frac{d_1}{2 * \tan \alpha}, \quad Y_2 = \frac{d_2}{2 * \tan \beta}$$

Dabei bezeichnet  $\alpha$  den Projektionswinkel zwischen dem Projektionszentrum sowie einer ersten und einer zweiten optischen Achse (Ebene),  $\beta$  den Projektionswinkel zwischen dem Projektionszentrum sowie einer zweiten und dritten optischen Achse (Ebene),  $X_1, X_2, X_3$  einzelne von der optischen Achse (Ebene) gekreuzte Abtaster, mit  $X_2$  als Kreuzung mit der Mittelsenkrechten des Bezugskörpers (38), in einer Reihe von Abtastern und  $d_1$  und  $d_2$  die Mittenabstände zwischen den Abtastern  $X_2$  und  $X_1$  bzw.  $X_3$  und  $X_2$ .

Es können somit gleichzeitig zwei Koordinaten, nämlich einmal in Richtung der Maßstabsachse und zum anderen senkrecht zur Maßstabsachse ermittelt werden.

Eine Weiterbildung sieht vor, daß zusätzlich auch eine Bestimmung des Neigungswinkels des Positionierkörpers gegenüber dem Bezugskörper trigonometrisch nach folgenden Funktionen oder Gleichungen berechnet wird:

$$f = \arctan \left( \frac{d_3}{z_0} \right)$$

mit  $d_3 = X_2 - X_0$ .

Dabei ist  $d_3$  der Abstand zwischen dem Schnittpunkt  $X_0$  des Lotes des Projektionszentrums auf den Maßstäben und dem Schnittpunkt  $X_2$  der Mittel senkrechten des Bezugskörpers mit den Maßstäben.

Es besteht somit die Möglichkeit, mit einer einzigen Kombination aus Maßstab und Projektoren drei Koordinaten zu bestimmen.

Weiterbildungen und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen, der weiteren Beschreibung und der Zeichnung, anhand der die Erfindung näher erläutert wird.

In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine schematische Seitenansicht eines Bezugskörpers mit Projektoren in divergierender Anordnung über einem Positionierkörper mit einem Maßstab,

Fig. 2 eine Fig. 1 entsprechende schematische Seitenansicht, jedoch mit konvergierend angeordneten Projektoren,

Fig. 3 eine schematische Seitenansicht eines Bezugskörpers über einem Positionierkörper mit sowohl konvergierend als divergierend angeordneten Projektoren,

Fig. 4 eine weitere Seitenansicht ähnlich Fig. 1, bei der der Positionierkörper gegenüber dem Bezugskörper geneigt ist zur Erläuterung der Berechnungsformel zur Bestimmung des Neigungswinkels und

Fig. 5 eine perspektivische Ansicht eines Positionierkörpers mit Maßstäben und einem Bezugskörper mit Projektoren zur Erfassung aller räumlichen Parameter.

Fig. 1 zeigt eine schematische Seitenansicht einer Vorrichtung zur Lagebestimmung eines Positionierkörpers 36 relativ zu einem Bezugskörper 38, wobei der Bezugskörper 38 drei divergierend angeordnete Projektoren 10, 12, 14 umfaßt, die Lichtebenen auf einen Maßstab 30 eines Positionierkörpers 36 werfen und auf diese Weise Licht-Marken A, B, C erzeugen. Die Licht-Marken A, B, C werden durch optische Abtaster 16 erfaßt, die aus aneinandergereihten Abtaster- oder Pixelelementen bestehen erfaßt. Die Projektoren 10, 12, 14 bestehen im einzelnen jeweils aus einer Laserlichtquelle 26 mit einer Optik 22 und einer Spaltblende 28. Statt der hier dargestellten drei Projektoren 10, 12, 14 können auch mehr als drei Projektoren vorhanden sein. Für eine Bestimmung der Koordinaten  $X_0$  und  $Z_0$  sind jedoch mindestens drei Projektoren erforderlich. Die Projektoren 10, 12, 14 sind so ausgerichtet, daß der mittlere Projektor 12 eine Lichtebene aussendet, die mit der Mittelsenkrechten des Bezugskörpers 38 zusammenfällt, während die Lichtebenen der Projektoren 10 und 14 jeweils einen Winkel  $\alpha$  bzw.  $\beta$  zur Lichtebene des Projektors 12 einnehmen.

Die Lichtebenen kreuzen optische Abtaster 16, die hier in Form einer CCD-Zeile ausgebildet sind. Diejenigen Abtaster 16, auf die die drei Lichtebenen fallen, sind mit  $X_1$ ,  $X_2$  und  $X_3$  bezeichnet. Diesen Abtastern 16 sind Koordinaten zugeordnet, die sich aus den Mittenabständen der einzelnen Abtaster 16 und ihrer Ordnungszahl ergeben.

An die Abtaster 16 ist ein Rechner 18 angeschlossen, welcher aus der Helligkeitsverteilung einer auf mehrere Abtaster 16 fallenden Lichtebene das Mittenmaximum der Lichtebene bestimmt. Auf diese Weise kann die optische Ebene  $E_{10}$ ,  $E_{12}$ ,  $E_{14}$  mit einer höheren Auflösung als dem Rasterabstand der einzelnen Abtaster 16 bestimmt werden.

Weiterhin berechnet der Rechner 18 die Koordinaten  $X_0$  und  $Z_0$  des Projektionszentrums O nach folgenden trigonometrischen Funktionen und Gleichungen:

$$X_0 = (Y_1 - Y_2) * \frac{(Y_1 * d_2 + Y_2 * d_1) * 2}{(Y_1 - Y_2)^2 + (d_1 + d_2)^2} + X_2$$

$$Z_0 = (d_1 + d_2) * \frac{(Y_1 * d_2 + Y_2 * d_1) * 2}{(Y_1 - Y_2)^2 + (d_1 + d_2)^2}$$

mit

$$d_1 = x_2 - x_1, \quad d_2 = x_3 - x_2,$$

$$y_1 = \frac{d_1}{2 \cdot \tan \alpha}, \quad y_2 = \frac{d_2}{2 \cdot \tan \beta}.$$

Dabei bezeichnet  $\alpha$  den Projektionswinkel zwischen dem Projektionszentrum O sowie einer ersten und einer zweiten optischen Achse (Ebene)  $E_{10}, E_{12}$ ,  $\beta$  den Projektionswinkel zwischen dem Projektionszentrum O sowie einer zweiten und dritten optischen Achse (Ebene)  $E_{12}, E_{14}$ ,  $x_1, x_2, x_3$  einzelne von der optischen Achse (Ebene)  $E_{10}, E_{12}, E_{14}$  gekreuzte Abtaster, mit  $x_2$  als Kreuzung mit der Mittelsenkrechten des Bezugskörpers 38, in einer Reihe von Abtastern und  $d_1$  und  $d_2$  die Mittenabstände zwischen den Abtastern  $x_2$  und  $x_1$  bzw.  $x_3$  und  $x_2$ .

Fig. 2 zeigt eine andere Ausgestaltung, bei der die Projektoren 20, 12, 24 konvergierend angeordnet sind. Das Projektionszentrum O liegt hierbei auf der gegenüberliegenden Seite des Maßstabes 30. Die Ermittlung der Koordinaten  $x_0, z_0$  erfolgt analog zu der Ausgestaltung gemäß Fig. 1.

Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführung, bei der der Bezugskörper 38 sowohl konvergierend als auch divergierend angeordnete Projektoren 10, 12, 14; 20, 24 umfaßt. Dabei sind die Projektoren 10, 12 und 14 divergierend angeordnet und die Projektoren 20 und 24 unter Einbeziehung des Projektors 12 konvergierend angeordnet.

Bei dieser Anordnung kann sowohl das Projektionszentrum  $O_1$ , das auf der den Projektoren 10, 12, 14; 20, 24 zugewandten Seite des Maßstabes 30 liegt, bestimmt werden als auch das Projektionszentrum  $O_2$  auf der anderen Seite des Maßstabes 30. Die zugehörigen Projektionswinkel  $\alpha$  und  $\beta$  tragen den gleichen Index wie die Projektionszentren.

Während bei den Darstellungen gemäß Fig. 1–3 der Positionierkörper 36 parallel zum Bezugskörper 38 ausgerichtet ist, zeigt Fig. 4 eine Ausführung ähnlich Fig. 1, bei der der Positionierkörper 36 jedoch unter dem Neigungswinkel  $f$  steht. Dieser Neigungswinkel  $f$  befindet sich zwischen dem Lot des Projektionszentrums O auf dem Maßstab 30 und dem Schnittpunkt der Mittelsenkrechten des Bezugskörpers 38 mit dem Maßstab 30. Die Berechnung erfolgt nach folgender trigonometrischer Funktion:

$$f = \arctan \left( \frac{d_3}{z_0} \right)$$

mit  $d_3 = x_2 - x_0$ .

Dabei ist  $d_3$  der Abstand zwischen dem Schnittpunkt  $x_0$  des Lotes des Projektionszentrums (O) auf dem Maßstab (30) und dem Schnittpunkt  $x_2$  der Mittelsenkrechten des Bezugskörpers 38 mit dem Maßstab 30.

Fig. 5 zeigt einen Positionierkörper 36 mit drei Maßstäben 30, 32 und 34 und drei Projektoranordnungen 40, 42, 44 auf einem Bezugskörper 38. Jede der Projektoranordnungen 40, 42, 44 kann so ausgestaltet sein, wie es die Fig. 1 bis 4 veranschaulichen. Ein erster 30 und zweiter Maßstab 32 befindet sich auf der Breitseite des Bezugskörpers 38. Ein dritter Maßstab 34 ist auf der Schmalseite des Bezugskörpers 38 angeordnet. Die Schmalseite und die Breitseite des Bezugskörpers 38 sind in einem Winkel von 90° ausgerichtet. Die genaue Lage des Positionierkörpers 36 gegenüber dem Bezugskörper 38 kann an Hand der von den Projektoranordnungen 40, 42, 44 ausgesandten Lichtebenen und von den Abtastern 16 ermittelten Abtast-Werte bestimmt werden. Zur Bestimmung der X-Richtung eignen sich im Prinzip die Daten jedes der drei Abtaster der Maßstäbe 30, 32, 34. Sie stimmen hinsichtlich der X-Richtung überein. Zur Bestimmung der Y-Richtung eignen sich die Daten des Abtasters des Maßstabes 34, wobei hier der Abstand zwischen der Projektoranordnung 44 und der Maßstabsebene ermittelt wird.

Für die Bestimmung der Z-Richtung sind die Daten der Abtaster der Maßstäbe 30 oder 32 auszuwerten.

Während bei paralleler Ausrichtung von Positionierkörper und Bezugskörper die Abstände gleich sind, ergeben sich Unterschiede bei einem Drehwinkel  $w$ . Der Drehwinkel  $w$  kann somit aus der Differenz der Abstände und dem Abstand der Projektionszentren der Projektoranordnungen 40, 42 ermittelt werden.

Die Bestimmung des Drehwinkels  $\alpha$  erfolgt über die Differenz der Daten der Abtaster der Maßstäbe 30 und 32 in X-Richtung unter Berücksichtigung ihrer gegenseitigen Abstände.

Schließlich wird der Drehwinkel  $f$  nach der vorerwähnten Formel

$$f = \arctan \left( \frac{d_3}{z_0} \right)$$

berechnet.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Lagebestimmung eines Positionierkörpers (36) relativ zu einem Bezugskörper (38), wobei der Positionierkörper (36) wenigstens einen eindimensionalen Maßstab (30) trägt und Koordinaten ( $X_0, Z_0$ ) eines Projektionszentrums (O) aus den Projektionswinkeln ( $\alpha, \beta$ ) zwischen dem Projektionszentrum (O) und wenigstens drei projizierter Marken (A, B, C) sowie aus dem gegenseitigen Abstand der Marken (A, B, C) trigonometrisch berechnet werden, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem Positionierkörper (36) zueinander parallele eindimensionale Maßstäbe angeordnet sind, wobei

a) zwei Maßstäbe (30, 32) in einer gemeinsamen Ebene liegen oder

b) in zwei Ebenen, die unter einem Winkel von vorzugsweise  $90^\circ$  aufeinander stehen, jeweils ein Maßstab (30, 34) liegt oder

c) zwei Maßstäbe (30, 32) in einer gemeinsamen ersten Ebene liegen und ein weiterer Maßstab (34) in einer zweiten Ebene liegt und die beiden Ebenen unter einem Winkel von vorzugsweise  $90^\circ$  aufeinander stehen,

daß jedem Maßstab (30, 32, 34) eine auf dem Bezugskörper (38) angeordnete Projektoranordnung (40, 42, 44) aus wenigstens je drei Projektoren (10, 12, 14) zugeordnet sind, die auf den Maßstäben (30, 32, 34) Licht-Marken (A, B, C) projizieren, daß Projektionszentren (O) durch den gemeinsamen Schnittpunkt der optischen Achsen oder die gemeinsame Schnittlinie der optischen Ebenen ( $E_{10}, E_{12}, E_{14}; E_{20}, E_{22}, E_{24}$ ) wenigstens dreier auf dem Bezugskörper (38) angeordneter Projektoren (10, 12, 14; 20, 22, 24) gebildet sind, die divergierende und/oder konvergierende Lichtstrahlen oder Lichtebenen aussenden, und daß die Maßstäbe (30, 32, 34) durch optische Abtaster (16) gebildet sind, welche die projizierten Licht-Marken (A, B, C) erfassen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Projektoren (10, 12, 14; 20, 22, 24) jeweils aus einer Laserlichtquelle (26) mit einer Optik (22) und einer Blende (28) bestehen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Projektoren (10, 12, 14; 20, 22, 24) aus einer gemeinsamen Laserlichtquelle mit einer Lichtstrahl- oder Lichtebenen-Aufteilungsoptik und Blenden bestehen.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Blenden (28) zur Erzeugung von Lichtstrahlen als Lochblenden und zur Erzeugung von Lichtebenen als Spaltblenden ausgebildet sind.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die optischen Abtaster (16) durch eine CCD-Zeile gebildet sind.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die optischen Abtaster (16) mit einem Rechner (18) verbunden sind, welcher aus der Helligkeitsverteilung eines (einer) auf mehrere Abtaster (16) fallenden Lichtstrahls (Lichtebene) das Mittenmaximum des Lichtstrahls (der Lichtebene) bestimmt und dieses der optischen Achse (Ebene) ( $E_{10}, E_{12}, E_{14}; E_{20}, E_{22}, E_{24}$ ) zuordnet.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Projektionszentrum (O) bei divergierend angeordneten Projektoren (10, 12, 14) auf der den Projektoren (10, 12, 14) zugewandten Seite der Maßstäbe (30, 32, 34) und bei konvergierend angeordneten Projektoren (12, 20, 24) auf der den Projektoren (10, 12, 14) abgewandten Seite der Maßstäbe (30, 32, 34) liegt.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der mit den optischen Abtastern (16) verbundene Rechner (18) die Berechnung der Koordinaten ( $X_0, Z_0$ ) des Projektionszentrums (O) nach folgenden trigonometrischen Funktionen und Gleichungen durchführt:

$$X_0 = (Y_1 - Y_2) * \frac{(Y_1 * d_2 + Y_2 * d_1) * 2}{(Y_1 - Y_2)^2 + (d_1 + d_2)^2} + X_2$$

$$Z_0 = (d_1 + d_2) * \frac{(Y_1 * d_2 + Y_2 * d_1) * 2}{(Y_1 - Y_2)^2 + (d_1 + d_2)^2}$$

mit

$$d_1 = X_2 - X_1, \quad d_2 = X_3 - X_2,$$

$$Y_1 = \frac{d_1}{2 * \tan \alpha}, \quad Y_2 = \frac{d_2}{2 * \tan \beta}$$

wobei  $\alpha$  den Projektionswinkel zwischen dem Projektionszentrum (O) sowie einer ersten und einer zweiten optischen Achse (Ebene) ( $E_{10}, E_{12}; E_{20}, E_{12}$ ),  $\beta$  den Projektionswinkel zwischen dem Projektionszentrum (O)



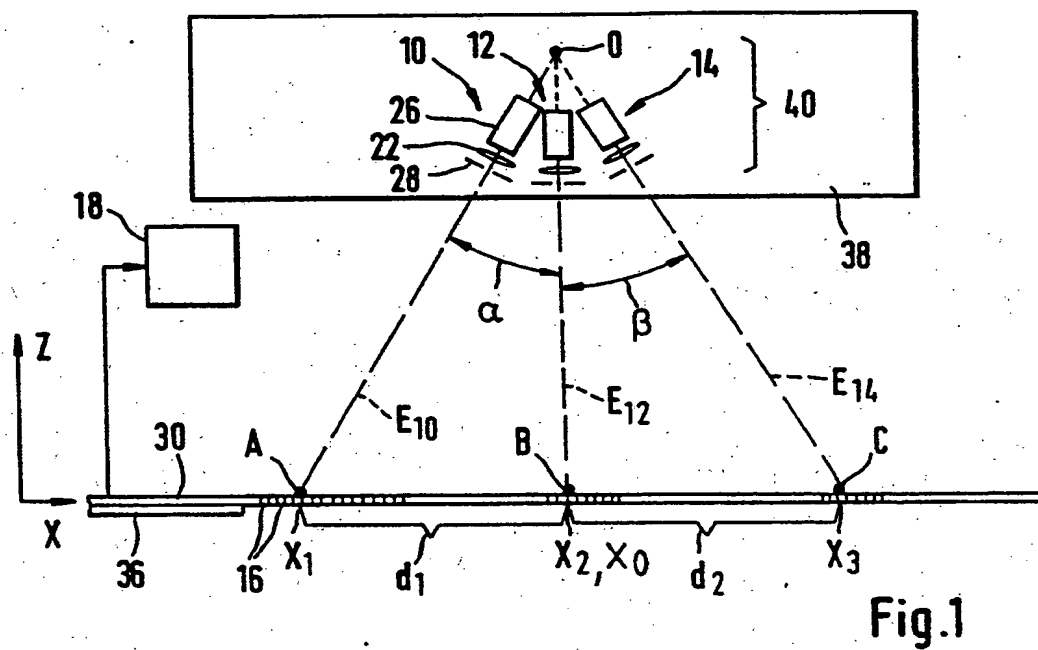
sowie einer zweiten und dritten optischen Achse (Ebene) ( $E_{12}$ ,  $E_{14}$ ;  $E_{12}$ ;  $E_{24}$ ) bezeichnet,  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  einzelne von der optischen Achse (Ebene) ( $E_{10}$ ,  $E_{12}$ ,  $E_{14}$ ;  $E_{20}$ ,  $E_{24}$ ) gekreuzte optische Abtaster 16 in einer Reihe von Abtastern, mit  $X_2$  als Kreuzung mit der Mittelsenkrechten des Bezugskörpers (38), sind und  $d_1$  und  $d_2$  die Mittenabstände zwischen den Abtastern  $X_2$  und  $X_1$  bzw.  $X_3$  und  $X_2$  sind.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Rechner (18) zusätzlich eine Bestimmung des Neigungswinkel  $f$  des Positionierkörpers (36) gegenüber dem Bezugskörper (38) trigonometrisch berechnet nach Funktionen und Gleichungen: 5

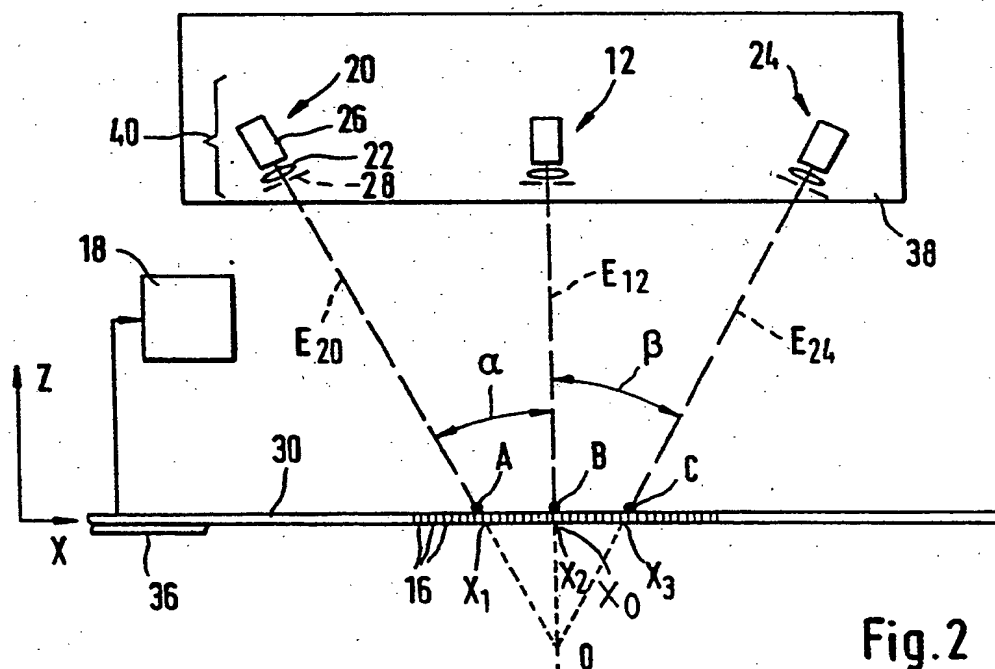
$$f = \arctan \left( \frac{d_3}{z_0} \right)$$

mit  $d_3 = X_2 - X_0$   
wobei  $d_3$  der Abstand zwischen dem Schnittpunkt  $X_0$  des Lotes des Projektionszentrums (O) auf den Maßstäben (30, 32, 34) und dem Schnittpunkt  $X_2$  der Mittelsenkrechten des Bezugskörpers (38) mit den Maßstäben (30, 32, 34) ist. 15

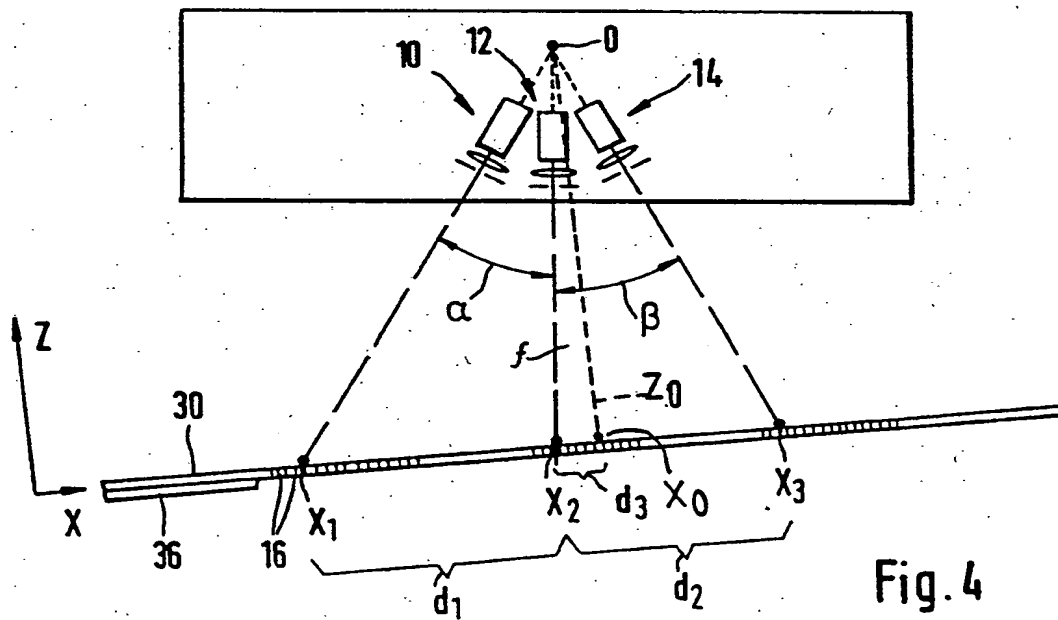
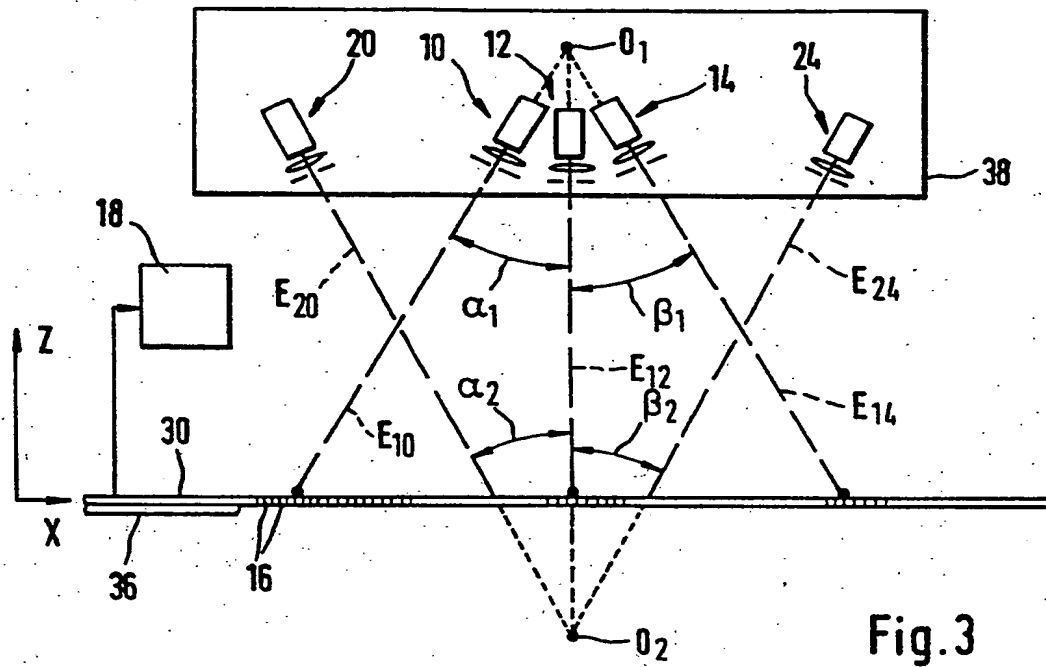
Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen



**Fig.1**



**Fig.2**



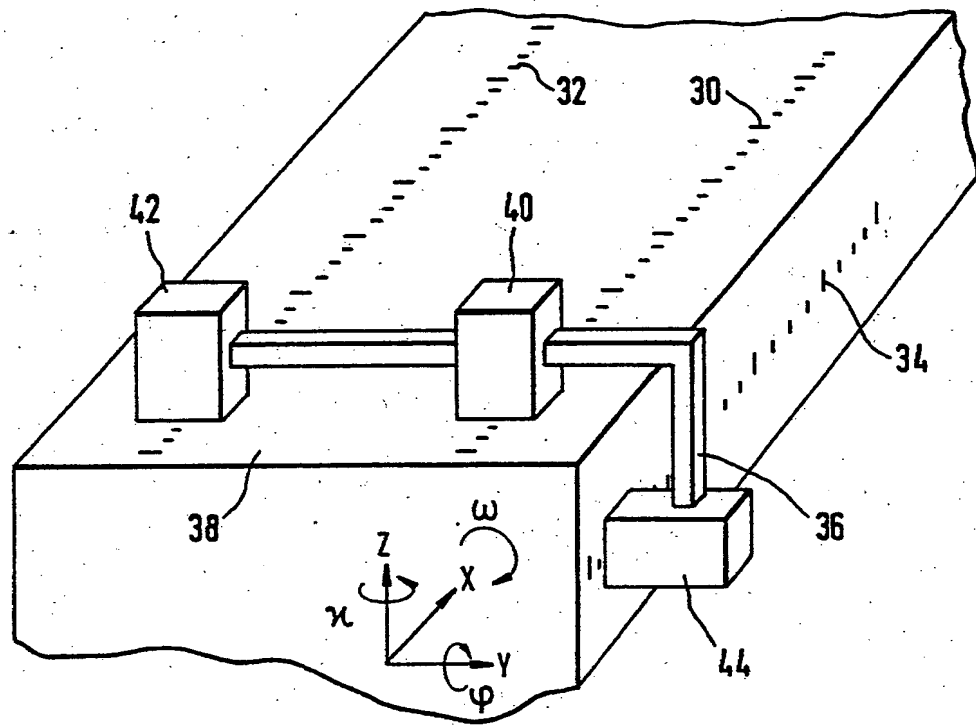


Fig. 5